

THESIS

MUNICH

1965

STANFORD MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
350 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF.

**Experimentelle physikalische Untersuchung
über Silikatzemente mit und ohne Zusatz
von Gitterwerkstoffen**

Walter/Fritz

**Experimentelle physikalische Untersuchung
über Silikatzemente mit und ohne Zusatz
von Gitterwerkstoffen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Walter Fritz
aus Burghausen

München 1965

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Priv.-Doz. Dr. Dr. W. KETTERL
Korreferent: Prof. Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS
Dekan: Prof. Dr. Dr. R. ZENKER

Tag der mündlichen Prüfung: 5. 10. 1965

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG	5
II. HERSTELLUNG UND PRÜFUNG VON PROBEKÖRPERN	9
III. EIGENE VERSUCHE	11
IV. DISKUSSION	28
V. ZUSAMMENFASSUNG	35
VI. ANHANG: STATISTISCHE AUSWERTUNG	36
VII. LITERATUR	56
VIII. LEBENSLAUF	59



Digitized by the Internet Archive
in 2026

I. EINLEITUNG

Im Jahre 1878 führte ROSTAING das Zinkoxyphosphatzement in die Zahnheilkunde ein, das bis zum Jahre 1905 für Füllungen im Frontzahnbereich zur Anwendung kam. ASCHER und STEENBOCK ersetzten dann das Zinkoxyphosphatzement durch das Aluminiumphosphatzement, das mit geringfügigen Änderungen noch heute als Silikatzement im Handel ist. Natürlich wurden auch damals schon Untersuchungen über mechanische und chemische Eigenschaften dieser Zemente durchgeführt. Aber diese Untersuchungen vermißten eine systematische Durchführung. Erst im Jahre 1928 entwickelten die Amerikaner genaue Prüfungsvorschriften für Zahnzemente, die bis heute ihre Gültigkeit haben. Herausgegeben werden diese Vorschriften vom National Bureau of Standards, der staatlichen Materialprüfstelle in Washington D.C., als sog. Specifications. In diesen sind für jedes Material genaue Vorschriften über Maximal- und Minimalwerte, sowie die Methode der Untersuchung enthalten. Da die mechanischen Eigenschaften der ersten Silikatzemente sehr zu wünschen übrig ließen, war es nur eine natürliche Forderung der Zahnärzte, diese Eigenschaften zu verbessern. So brachten die verschiedenen Firmen immer neue Materialien auf den Markt. Heute bieten z. B. die Firmen DE TREY mit ihrem SUPERSYNTREX und die Firma VIVADENT mit ihrem ACHATIT den letzten Entwicklungsstand der Silikatzemente an. Zahnzemente, ob Silikat oder Phosphatzemente müssen einige grundlegende Eigenschaften aufweisen.

1. Unschädlichkeit für Pulpa und Paradontium,
2. Mundbeständigkeit, das heißt, sie müssen resistent gegen die zersetzenden Einflüsse des Speichels und der Bakterien sein.
3. Mechanische widerstandsfähigkeit gegen Druck, Zug und Abscherkräfte,
4. Volumenbeständigkeit,
5. Grosse Haftintensität.

In meinen Untersuchungen sollen die mechanischen Eigenschaften von SUPERSYNTREX (DE TREY) und ACHATIT (VIVADENT) geprüft werden. Da die Druckfestigkeit von Silikatzementen schon immer hoch war, die Zug- und Biegefestigkeit jedoch sehr gering, wurde ACHATIT mit einem Glasfaserzusatz versehen, der diese Eigenschaften verbessern sollte.

Darüber schreibt KNAPPWOST (9):

"Zahnschmelz, ein an sich sprödes Material, wird durch Einlagerung der interprismatischen Substanz -das Keratin- erheblich in seiner Zugfestigkeit gesteigert.

Besonders eindrucksvoll sind diese Zugfestigkeitssteigerungen in der Bautechnik, als man Eisenstangen in den Beton einließ.

Schon lange suchte man für die Silikatzemente, die in der Zahnheilkunde Verwendung finden, Mittel und Wege - das an sich gegen Druck unempfindliche, aber gegen Zugfestigkeit sehr anfällige Material- die Zugfestigkeit zu steigern.

Man setzte dem Silikat, in Verkenning des wahren Problems, Metallpulver und sogar Diamantpulver zu und erreichte aber nur eine Drucksteigerung, aber keine nennenswerte Zugsteigerung.

Die entscheidende Bedingung für eine Wirksamkeit eines zugfesten Einlagerungsmaterials ist die, daß der einzulagernde Stoff eine Längenausdehnung aufweist, die identisch ist mit der räumlichen Ausdehnung der Zugspannungen im Füllkörper. Eine weitere Voraussetzung für die wirksame Einlagerung ist die Verankerung in der Grundmasse. Der einzulagernde Stoff darf nicht durch die Zugkräfte aus dem Grundmaterial herausgezogen werden und dieses dann schutzlos den Zugspannungen überlassen.

Für die Anwendung von Armierungsmaterial in der Zahnheilkunde müssen wir beachten, daß hier die Zugspannungen nach allen Richtungen laufen und nicht wie in der Bautechnik nur bestimmte Richtungen belastet werden. Man muß also hier von vorneherein entweder mehr Armierungsmaterial beifügen, oder es muß ein Armierungsmaterial extrem hoher Zugfestigkeit gefunden werden.

Die Kurzfasermarmierung durch Gläser löste dieses große Problem. Es gibt nämlich ein festigkeitstheoretisches Phänomen, daß manche Gläser in Faserform unterhalb eines Durchmessers von 0,01 mm eine Zugfestigkeit zeigen, die größer als die der besten Stähle ist, d.h. die Zugfestigkeit von Glasfasern unterhalb dieser kritischen Faserdicke kommt der aus (Elastizitätskonstanten oder aus Oberflächenenergien und den Wirkungsradien der atomaren Attraktionskräfte berechenbarer) sog. theoretischen Zugfestigkeit am nächsten und übertrifft sogar die technische Zerreißfestigkeit der zugfestesten Stähle. Natürlich liegt die technische Zerreißfestigkeit nicht nur der Stähle, sondern auch der anderen kristallinen Festkörper wegen der Kerbwirkung um ein vielfaches unter der "theoretischen Zugfestigkeit".

Solche Glasfasern ermöglichen speziell bei den Silikatzementen eine für die Verarbeitung überaus wichtige Begrenzung der Faserausdehnung auf 2-3 mm Länge. Ein Pulver mit längeren Fasern läßt sich nicht mehr anrühren, es sei denn, man reduziert die Faseranteile so weit, daß andererseits die Zugfestigkeit nur noch wenig zunimmt. Da diese kurzen Fasern aber nicht in allen Fällen die Ausdehnung der Zugspannungen erreichen, war es weiter wichtig, daß die eingelagerten Fasern adsorptiv von dem quasi homogenem Grundmaterial gebunden werden, wodurch gleichzeitig eine feste Verankerung des Armierungsmaterials gegeben war. Die adsorptive Bindung läßt sich durch die Wahl des Gitterwerkstoffgrundmaterials kultivieren".

KNAPPWOST (9) kam bei seinen Untersuchungen über Silikatzemente mit Glasfaserzusatz zu folgendem Ergebnis:

Bei Zusatz von 10 Gewichtsprozent Fasern (also nur 3.3 % in Belastungsrichtung, da statistische Verteilung der Fasern) Steigerung der Zug- und Kantenfestigkeit um 100 Prozent.

Hier will ich nun kurz auf die Zusammensetzung und Herstellung der Silikatzemente eingehen und die Frage erörtern, auf was die Festigkeit der Silikatzemente beruht.

DOLDER (1): Das summarische Bild der quantitativen Zusammensetzung eines heutigen Silikatzementes ist folgendes:

Pulver:	SiO_2	40 Teile	Flüssigkeit:	H_3PO_4	50 Teile
	Al_2O_3	30 "		Wasser	40
	Na			Al Salze	10
	Ca	15 "		Zn	
	P_2O_5				
	Fluor-	15 "			

Das Pulver wird auf synthetischem Wege hergestellt. Die Al, Ca und Na-Silikate werden in bestimmten Proportionen mit den Fluorverbindungen als Flußmittel innig vermischt. Das Gemisch wird in feuerfeste Tigel gebracht und vier Stunden bei einer Temperatur von 1400-1500 Grad geschmolzen. Die homogene flüssige Schmelze wird in Plattenform gegossen und langsam abgekühlt.

Dann wird das reinweiße, isotrope Material gebrochen und weiter zerkleinert und dann in Kugelmühlen 10 Stunden lang zu feinem Pulver zermahlen. Durch verschiedene Siebprozesse erhält man eine gewisse Homogenität der Korngröße, die für eine gleichmäßige Abbindezeit nötig ist. Die Korngröße beträgt dann im Durchschnitt 0.003 mm nach Analysen von COULTER COUNTER. Erst am Schluß werden die verschiedenen Farbstoffe zugefügt und gleichmäßig verteilt.

Die Flüssigkeit, die hauptsächlich aus Orthophosphorsäure und Wasser besteht, wird erst durch jahrelanges Lagern vollkommen klar und farblos. Der Gehalt an Wasser ist besonders wichtig für eine gleichmäßige Abbindezeit. Wasserverlust verlangsamt die Erhärtung wesentlich. Zur Mischung werden Thermoanrührplatte und Achatspatel verwendet. Temperatur 18-20 Grad Celsius. Mischungsverhältnis: 5 Teile Pulver und ein Teil Flüssigkeit. Im Gegensatz zu Phosphatzement soll beim Silikatzement auf Grund der kolloidalen Natur des Materials am Anfang der Mischung eine erste große Portion (von der Größe des Flüssigkeitstropfens) und dann immer kleinere Pulvermengen zugefügt werden. Die Festigkeit der Silikatzemente beruht nach KNAPPWOST (9) auf folgendem:

Aluminiumsilikat + Phosphorsäure = Aluminiumphosphat + Kieselsäure. Kieselsäure zerfällt in Wasser + Siliciumdioxid.

Siliciumdioxid bildet winzige Kriställchen, die sich zu einem räumlichen Netzwerk vereinigen, das Kondensationswasser (entstanden durch Kondensation der Kieselsäure) einschließt. Dieses räumliche Netzwerk + Kondensationswasser nennt man Gel. Das Silikatgel der Silikatzemente schließt noch das Reaktionsprodukt Aluminiumphosphat ein. Dieser Gel-aufbau ist es, der ihre Festigkeitseigenschaften ausmacht.

Normale Silikatfüllungen werden durch Korrosion angegriffen, das Gel reißt leicht, schrumpft irreversibel und ist einer Abrasion unterworfen, die um so größer ist, je dünner angerührt wurde.

Bei Gitterwerkstoffen ist das nicht der Fall. Hier sorgt die Faserarmierung für eine Stabilisierung des Gels, außerdem eine steife Anrührkonsistenz. Eigentliche Basis der Füllungskörper ist das chemisch äußerst stabile Siliciumdioxid in Form winziger Quarzkriställchen.

II. HERSTELLUNG UND PRÜFUNG VON PROBEKÖRPERN (LITERATUR)

1922 machte DIECK (2) den Versuch, eine einheitliche Untersuchungsmethode zur Prüfung von Silikatzementen zu schaffen. Große Bedeutung legt er der Vorbereitung der Versuche zu. Er verlangt:

1. die Bestimmung des günstigsten Mischungsverhältnis Pulver - Flüssigkeit,
 2. die Festlegung der Dauer der Anrührzeit,
 3. die Herstellung der Probekörper.
- Die Prüfung der physikalischen Eigenschaften soll sich erstrecken auf:
1. die Feinheit des Pulvers,
 2. die DRUCKFESTIGKEIT,
 3. die STOSS und BIEGEFESTIGKEIT
 4. die Härte und Dichte.

Die Probekörper für die Druckfestigkeit stellte er in einer Präzisionslehre mit zylindrischer Bohrung von 6 mm ϕ her. Mit der Maschine von Dr. Zipperer prüfte er die Druckfestigkeit. Die Probekörper für Biegefestigkeit waren Rechtecke von der Größe 25 mm Länge, 4 mm Breite, 4 mm Höhe. Er legte die Probekörper auf einen Apparat, der auf einem Querbalken zwei Schneiden mit einem Abstand von 20 mm besaß. Genau in der Mitte wurden die Probekörper mit einer dritten Schneide belastet, welche durch ein Gehänge steigend beschwert wurde, indem man in ein Gefäß langsam Schrot einlaufen ließ, bis der Bruch des Stäbchens eintrat. Das Gefäß samt Schrot wurde gewogen und man bekam so aus den gewonnenen Werten ein Maß für die Biegefestigkeit. 1931 untersuchte v. HOFEN (6) die Druckfestigkeit von Zink und Aluminiumphosphatzementen. Beim Anrühren vermengte er erst zwei Drittel der Pulvermenge mit Flüssigkeit zu einem homogenen Gemisch, das letztere Drittel fügte er allmählich hinzu. Die Anrührzeit betrug 1 Min., um die Masse in die Form zu bringen, hatte er eine halbe Min. Zeit. Die Raumtemperatur betrug 22 Grad Celsius.

Die Probekörper waren Würfel von 0,5 cm Kantenlänge. Mit Hilfe einer nach dem Hebelprinzip konstruierten Apparatur wurden sie auf ihre Druckfestigkeit geprüft.

Ebenfalls 1930 unternahm GOLDER P. (3) Versuche über eine Reihe von Zementarten, wobei er sich genau an die von DIECK (2) 1922 veröffentlichten Vorschriften hielt.

WEIKART, MORGENSTERN, PASCHKE und DIECK stellten ihre Probekörper in auseinandernehmbaren Metallehren her. Zylindrische Bohrung mit bestimmter Höhe und Durchmesser für Druckfestigkeitsmessungen, konische oder längliche rechteckige für Biegefestigkeitsmessungen.

Bei der Herstellung von Probekörpern können die verschiedensten Fehler auftreten. WEIKART (11) gibt dazu 5 Hauptpunkte an:

1. Mischungsverhältnis
2. Anmischtechnik
3. Die Dauer des Anmischens
4. Die Fülltechnik
5. Die Temperatur

Wenn wir Probekörper herstellen, können die Punkte 3 und 5 als Fehler ausgeschaltet werden, da sie durch Prüfbestimmungen genau festgelegt werden können. Bleiben noch die Punkte 1, 2 und 4 zur näheren Betrachtung.

In der Praxis rührt der Zahnarzt rein gefühlsmäßig die geeignete Konsistenz an und erreicht bei einiger Sorgfalt ebensogute Werte, als wenn das Mischungsverhältnis genau bestimmt ist. Diese Tatsache hat schon RAWITZER W. (10) bei seinen Untersuchungen feststellen können.

Das Mischungsverhältnis ist also in gewissen Grenzen nicht so ausschlaggebend für die mechanischen Eigenschaften.

Als größte Fehlerquelle bezeichnet KLEINSORGEN (8) das persönliche Moment beim Anmischen eines Zementes.

Obwohl genaue Vorschriften über die Anrührzeit vom National Bureau of Standards herausgegeben werden, sind doch unkontrollierbare Momente, wie z. B. die Handhabung des Spatels, die Art des Verreibens, das Ausstreichen des Zementes und die Innigkeit des Durchmischens von Pulver und Flüssigkeit für die Fehler verantwortlich.

III. EIGENE VERSUCHE

Bei der Herstellung meiner Probekörper hielt ich mich an die A.D.A. Specification Nr. 9 for Dental Silicate Cement (Effective July 2, 1938) und an KIERSCHIEPER (7).

Hier soll zunächst die Übersetzung der A.D.A. Specification Nr. 9 angeführt werden:

A. Allg. Beschreibung:

Diese Beschreibung gilt für ein Zahnzement, welches zur Füllung von Defekten im Frontzahnbereich Anwendung findet.

B. Arten:

Nur eine Zementart (Silikatzement wird beschrieben)

C. Material:

Das Zement soll aus Pulver und Flüssigkeit bestehen, die, in üblicher Weise gemischt, erhärten sollen, um eine ausreichende Wiederherstellung zu gewährleisten. Pulver und Flüssigkeit sollen gleichmäßig und frei von giftigen und fremden Zusätzen sein.

D. Allg. Anforderungen:

1. Die Flüssigkeit soll frei von Flockenbildung, Niederschlag, Ablagerung und Bodensatz sein.
2. Das in der üblichen Weise angerührte Zement soll
 - a. kein Gas bilden
 - b. nach dem Eindringen nicht die Zahnstruktur verfärben.

E. Spezielle Anforderungen:

1. Erhärtungszeit: Sie soll nicht weniger als drei Minuten und nicht länger als acht Minuten betragen.
2. Druckfestigkeit: Sie soll 7 Tage nach dem Anrühren mehr als 1260 kg/qcm (1950 wurden 1620 kg/qcm nach 24 Stunden verlangt) betragen, bevor der Probekörper zerbricht.

F. Prüfungsmethoden.

Die Herstellung aller Probekörper soll in einem Milieu erfolgen, dessen Temperatur zwischen 18 - 22 Grad Celsius liegt und dessen relative Luftfeuchtigkeit zwischen 55 und 75 % beträgt. Alle Apparaturen, Instrumente und Geräte sollen sauber, trocken und frei von Teilchen erhärteten Zementes sein. Das Mischungsverhältnis wird bestimmt durch die genormte Konsistenz. Die Anrührtechnik aller Probekörper soll den Gebrauchsanweisungen entsprechen.

a) Angewandte Methodik des Anrührens.

Die genau abgewogene Pulvermenge wird auf eine Thermoanrührplatte gebracht (18 Grad Celsius, 65 % rel. Luftfeuchtigkeit). Diese Menge wird in zwei gleiche Teile und die eine Hälfte nochmals in zwei Teile geteilt. Wir haben dann einmal die Hälfte, zweimal ein Viertel der Ge-

samtmenge. Dann werden 0,4 ccm Flüssigkeit mit einer Präzisions-spritze auf die Platte gegeben. Zur Säureentnahme darf das Gefäß nur kurz geöffnet werden (da das Wasser verdunstet). Mit einem Achatspatel wird die große Portion in den Tropfen gebracht und nach Stoppuhr 15 Sekunden kräftig durchspatelt. Dann die zweite Portion wieder 15 Sek. Dann wird der Rest des Pulvers zugegeben und bis zur Gesamtzeit von einer Minute unter kreisenden und drehenden Spatelbewegungen die ganze Masse durchgeknetet.

b) Die Bestimmung der Standardkonsistenz.

Von größter Wichtigkeit für eine vergleichende Prüfung ist eine für alle Probekörper gleiche Konsistenz, da von ihr die Prüfungsergebnisse in weitestem Maße abhängig sind. Eine Konsistenz zu nehmen, wie sie der Hersteller für jedes Fabrikat eigens angibt, wäre nicht objektiv genug. Daher bestimmen wir eine Standardkonsistenz.

Eine dreigeteilte, beliebige Menge des Pulvers wird mit 0,4 ccm Flüssigkeit nach oben genannter Vorschrift 1 Min. angerührt und in einen Spritzenkolben von 8 mm Durchmesser (lichte Weite), dessen unteres Ende abgesägt war, bis zur Eichmarke 0,5 ccm aufgefüllt. Dann wird diese Masse mit Hilfe des Spritzenkolbens auf eine Glasplatte gedrückt. Eine zweite Glasplatte, mit einem Gewicht von 20 Gramm, wird 2 Min. nach Anrührbeginn auf die Masse gelegt und mit einem Zusatzgewicht von 2480 Gramm belastet. Die plastische Masse wird somit durch ein Gesamtgewicht von 2500 Gramm zu einer Scheibe gepreßt. Nach insgesamt 10 Minuten seit Anrührbeginn wird der Durchmesser der runden Scheibe gemessen und soll nun 25 ± 1 mm betragen. Ist der Durchmesser zu groß, dann war die Mischung zu dünn, es muß bei der 2. Probe mehr Pulver zugesetzt werden. Die Prüfung wird solange wiederholt, bis die Norm erreicht ist. Das Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit, das den Durchmesser von 25 ± 1 mm erreicht, ist die Standardkonsistenz. Für alle Probekörper wird diese Standardkonsistenz beibehalten. Bei meinen Versuchen ergab sich folgendes Mischungsverhältnis:

SUPERSYNTREX:	1.60 g Pulver	0.4 ccm Flüssigkeit
	oder: 1.18 g Pulver	0.3 ccm Flüssigkeit
ACHATIT	: 1.50 g Pulver	0.4 ccm Flüssigkeit
	oder: 1.14 g Pulver	0.3 ccm Flüssigkeit

c) Vorschriften über die Herstellung von Probekörpern.

Methodik: Eine zylindrisch zerlegbare Präzisionsform von 12 mm Höhe und 6 mm lichten Durchmesser wird auf eine Glasplatte gesetzt und mit dem betreffenden, in Standardkonsistenz angerührtem Material gefüllt. Eine zweite Glasplatte wird auf die Oberseite der Form gepresst, um das überschüssige Material zu entfernen. Die Form soll aus Hartgummi, Glas oder anderen von Zement nicht angreifbaren Materialien bestehen. 2 Minuten nach Beginn der Mischung gibt man die Form in einen Thermostaten (37 Grad Celsius, 100 % rel. Luftfeuchtigkeit) und läßt sie eine Stunde darin. Dann werden die Probekörper aus der Form entfernt

und bis zur Prüfung in destilliertem Wasser aufgehoben. Die Enden der Zylinder sollen plan sein und im rechten Winkel zu den Zylinderachsen stehen. Notfalls können die Zylinder durch Beschleifen plan und rechtwinklig gemacht werden; Die Proben sollen während des Beschleifens nass gehalten werden. Für die Biegeversuche wurden rechteckige Probekörper hergestellt, mit den Maßen 24 mm Länge, 4 x 4 mm quadratischer Querschnitt. Für die statische Biegefestigkeit Probekörper von 14 x 10 x 4 mm, für den Torsionsversuch Zylinder von 6 mm ϕ und 25 mm Länge.

Die Form, die zur Herstellung der rechteckigen Probekörper zur Verfügung stand, war aus Stahl, für alle anderen Probekörper standen Kunststoffformen bereit. Alle Formen konnten in der Mitte auseinandergenommen werden, so daß sich die Probekörper ohne Schwierigkeiten entnehmen liessen. Als Isoliermittel diente ein hauchfeiner Überzug aus reinster Vaseline. Vor Entfernung der Probekörper aus ihrer Form wurden diese auf einer Glasplatte mit nassem, feinstem Carborund beiderseits exakt plangeschliffen. Die Prüfung der Probekörper erfolgte bei den Firmen DE TREY und WIVADENT, die dafür die geeigneten Maschinen besitzen.

Von jedem Material wurden für jeden Versuch soviel Probekörper hergestellt, daß nach Ausscheidung derjenigen Probekörper, die makroskopisch erkennbare Schwundrisse oder andere Mängel hatten, noch mindestens 10 - 15 Probekörper von jeder Sorte für jeden Versuch zur Verfügung standen.

Folgende Versuche wurden durchgeführt:

Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Abscherfestigkeit, Biegefestigkeit, Torsionsfestigkeit, Kugelfallversuch und Pendelschlagversuch. Daß trotz gewissenhafter Herstellung aller Probekörper, unter völlig gleichen Bedingungen, so große Schwankungen auftraten, kann nicht genügend erklärt werden. Der Fehler liegt wahrscheinlich in der Bildung von Luftblasen im Prüfkörper selbst. Die gleiche Erfahrung machte auch HARTUNG L. (6).

Alle Versuchsergebnisse wurden graphisch dargestellt und im Anhang statistisch ausgewertet (Siehe Seite 36).

Druckproben von S. Syntrex.

Es wurden 12 Probekörper - Zylinder von 6 mm ϕ und 12 mm Länge - nach der Vorschrift der A.D.A. angefertigt. Als Standardkonsistenz wurden 0.3 ccm Flüssigkeit und 1.18 g Pulver bestimmt. Die Anrührzeit betrug 1 Min. 15 Sec. Temperatur der Thermoanrührplatte betrug 20 Grad Celsius. 2 Min. nach Beginn der Mischung, wurden die in eine Kunststoffform gefüllten Probekörper, für eine Stunde in einen Thermostaten gebracht. Nach einer Stunde wurden sie mit nassem Carborundsand an beiden Enden exakt plangeschliffen. Nach Aufbewahrung der Probekörper für 24 Std. in destilliertem Wasser von 37 Grad Celsius wurden sie in einem Hounsfield Tensometer auf Druck geprüft. Vorschub der Spindel 0.25 mm/min. Diejenigen Ergebnisse, die vom Mittelwert 15 % nach unten abwichen, wurden ausgeschieden und dann der Mittelwert aus den übrigen Ergebnissen noch einmal bestimmt.

Ergebnis:

1.	Versuch:	Bruch bei	650 kg	umgerechnet	auf	kg/qcm	2297
2.	"	"	650 kg	"	"	"	2297
3.	"	"	655 kg	"	"	"	2315
4.	"	"	700 kg	"	"	"	2474
5.	"	"	695 kg	"	"	"	2456
6.	"	"	675 kg	"	"	"	2385
7.	"	"	755 kg	"	"	"	2668
8.	"	"	655 kg	"	"	"	2315
9.	"	"	670 kg	"	"	"	2367
10.	"	"	550 kg	"	"	"	1944
11.	"	"	720 kg	"	"	"	2544
12.	"	"	710 kg	"	"	"	2509

8085 kg

1. Mittelwert: 674 kg = 2380 kg/qcm.
15 % = 100 kg. Darum wird der 10. Versuch mit
550 kg ausgeschieden.
2. Mittelwert: 685 kg = 2420 kg/qcm.
- Maximum: 2668 kg/qcm.

Druckproben von Achatit.

Verfahren wurde genauso wie bei S. Syntrex

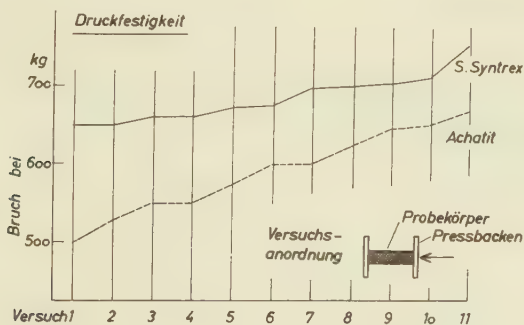
Ergebnis:

	Versuch:	Bruch bei	550 kg umgerechnet auf	kg/qcm	1944
1.	"	"	530 kg	"	1873
2.	"	"	620 kg	"	2191
3.	"	"	665 kg	"	2350
4.	"	"	500 kg	"	1763
5.	"	"	600 kg	"	2120
6.	"	"	600 kg	"	2120
7.	"	"	420 kg	"	1488
8.	"	"	640 kg	"	2262
9.	"	"	550 kg	"	1944
10.	"	"	570 kg	"	2014
11.	"	"	650 kg	"	2297

6895 kg

- Mittelwert: 575 kg $\approx$ 2032 kg/qcm
15 % $\approx$ 85 kg. Darum wird der 8. Versuch mit 420 kg ausgeschieden.
- Mittelwert: 589 kg $\approx$ 2035 kg/qcm.
Maximum : 2350 kg/qcm.

Abbildung 1: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung bei der Druckprobe



Spaltzugfestigkeit von S. Syntrex.

Die Probekörper wurden nicht mehr senkrecht unter die Presse gestellt, sondern waagrecht auf exakt plangeschliffene Stahlplatten gelegt, um eine gleichmäßige Verteilung der Belastung auf den ganzen Probekörper zu erhalten. Die Probekörper waren wieder zylinderförmig, 6 mm $\varnothing$ 12 mm Länge.

Bei der Umrechnung auf kg/qcm wurde folgende Formel angewandt:

$$\sigma_{sp} = \frac{2 \cdot p}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Ergebnis:

1.	Versuch:	Spaltung	bei	80 kg	umgerechnet	auf	kg/qcm	71.0
2.	"	"	"	60 kg	"	"	"	53.0
3.	"	"	"	75 kg	"	"	"	66.5
4.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
5.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
6.	"	"	"	75 kg	"	"	"	66.5
7.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
8.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
9.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
10.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
11.	"	"	"	40 kg	"	"	"	35.5
12.	"	"	"	40 kg	"	"	"	35.5
13.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5
14.	"	"	"	65 kg	"	"	"	57.5
15.	"	"	"	50 kg	"	"	"	44.5

741.5

Mittelwert: 55.0 kg

15 % = 8.2 kg

Ausgeschieden werden Versuch 11 und 12.

2. Mittelwert: 58.0 kg

Maximum : 80.0 kg

Spaltzugfestigkeit von Achatit.

Versuchsanordnung war dieselbe wie bei der Prüfung von S. Syntrex.

Ergebnis:

1.	Versuch: Spaltung bei	110 kg	umgerechnet auf kg/qcm	97.5
2.		100 kg		88.5
3.		110 kg		97.5
4.		130 kg		115.0
5.		135 kg		119.5
6.		120 kg		106.0
7.		110 kg		97.5
8.		110 kg		97.5
9.		115 kg		102.0
10.		90 kg		79.5
11.		145 kg		128.0
12.		120 kg		106.0
13.		120 kg		106.0
14.		110 kg		97.5
15.		100 kg		88.5

1526.5

Mittelwert: 114.6 kg/qcm

Bei Vergleichung beider Mittelwerte ergibt sich eine 100 % bessere Spaltzugfestigkeit von Achatit.

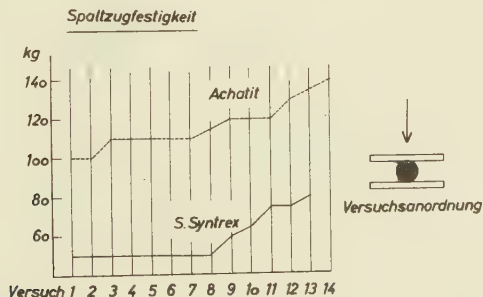
15 % = 17.2 kg

Ausgeschieden wird Versuch 10.

2. Mittelwert: 116.4 kg

Maximum: 145.0 kg

Abbildung 2: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung bei der Spaltzugfestigkeit.



Scherversuch von S. Syntrex.

Für den Scherversuch wurde ein Prüfgerät konstruiert, das für jeden Versuch die gleichen Bedingungen gewährleistete. Ein gehärteter Stahlzylinder hatte eine 6 mm Bohrung senkrecht zur Längsachse. Im rechten Winkel dazu wurde die Längsachse des Stahlzylinders ausgefräst und eine Scheibe hergestellt, die ebenfalls eine Bohrung von 6 mm hatte und genau in den ausgefrästen Spalt passte. Schob man den zylinderförmigen Probekörper durch die Bohrungen des Stahlzylinders und der Scheibe und belastete die Scheibe unter einer Presse, so wurde der Probekörper abgeschert.

Probekörper: Zylinder 6 mm 12 mm Länge.

Die Umrechnung auf kg/qcm erfolgte nach der Formel:

$$\sigma_s = \frac{p}{2 \cdot r^2 \cdot \pi}$$

Ergebnis:

1.	Versuch: Abscherung bei	260 kg umgerechnet auf kg/qcm	456
2.		275 kg	483
3.		120 kg	211
4.		155 kg	272
5.		125 kg	219
6.		125 kg	219
7.		205 kg	360
8.		105 kg	184
9.		245 kg	430
10.		100 kg	175
11.		225 kg	395
12.		120 kg	211
13.		235 kg	413
14.		195 kg	342
15.		115 kg	202

 4572

Mittelwert: 304.8 kg/qcm

Scherversuch von Achatit.

Versuchsanordnung war dieselbe wie bei der Prüfung von S. Syntret.

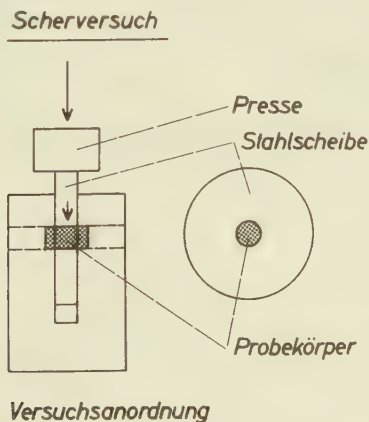
Ergebnis:

1. Versuch: Abscherung bei	175 kg	umgerechnet auf kg/qcm	307
2.	235 kg		413
3.	170 kg		298
4.	225 kg		395
5.	185 kg		325
6.	205 kg		360
7.	160 kg		281
8.	140 kg		246
9.	175 kg		307
10.	135 kg		237
11.	215 kg		377
12.	190 kg		334
13.	200 kg		351
14.	150 kg		263
15.	240 kg		420

4914

Mittelwert: 328.0 kg/qcm

Abbildung 3: Versuchsanordnung bei dem Scherversuch.



Biegeversuch von S. Syntrex und Achatit.

Hergestellt wurden 15 rechteckige Probekörper von der Größe 24 x 4 x 4 mm. Bei der Prüfung wurden die Körper auf zwei Auflagen, die einen Abstand von 18 mm hatten, aufgelegt und genau in der Mitte belastet. Der Belastungskeil, der genau in der Mitte des Probekörpers angriff, hatte einen Vorschub von 15 mm/min. An einer mit der Biegemaschine verbundenen Skala, konnte man den Druck beim Bruch des Probekörpers in kg · cm ablesen. Die Meßgenauigkeit der erhaltenen Werte wurde mit $\pm 1\%$ angegeben. Die Herstellung der Probekörper erfolgte nach Vorschrift der A.D.A. Die Prüfung erfolgte nach 24 Stunden.

Ergebnis:		S. Syntrex	Achatit
1. Versuch:	Bruch bei	2.9 kg. cm	3.5 kg. cm
2.	" "	4.0 kg. cm	3.5 kg. cm
3.	" "	3.3 kg. cm	3.8 kg. cm
4.	" "	3.3 kg. cm	4.4 kg. cm
5.	" "	3.2 kg. cm	3.5 kg. cm
6.	" "	3.9 kg. cm	3.6 kg. cm
7.	" "	4.2 kg. cm	3.5 kg. cm
8.	" "	3.8 kg. cm	3.6 kg. cm
9.	" "	3.3 kg. cm	3.6 kg. cm
10.	" "	3.5 kg. cm	3.6 kg. cm
11.	" "	4.1 kg. cm	3.7 kg. cm
12.	" "	3.6 kg. cm	3.6 kg. cm
13.	" "	3.6 kg. cm	4.1 kg. cm
14.	" "	3.6 kg. cm	3.4 kg. cm
15.	" "	3.1 kg. cm	3.6 kg. cm
Summe:		49.8 kg. cm	Summe: 55.0 kg. cm

1. Mittelwert: 3.56 kg.cm

15 % = 0.54

1. Mittelwert: 3.66 kg.cm

15 % = 0.55

In dieser Versuchsreihe wird bei S. Syntrex Versuch Nr. 1 ausgeschieden, da eine Abweichung über 15 % vorkommt.

2. Mittelwert: 3.60

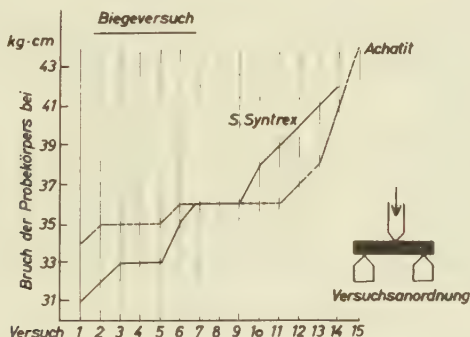
Maximum: 4.2 kg.cmMaximum: 4.4 kg.cm

Die Umrechnung auf kg/qcm kann nach folgender Formel erfolgen:

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = \frac{P l}{4 b h^2} \cdot M = \text{Moment} \frac{P l}{4} \quad W = \text{Widerstandsmoment} \frac{b h^2}{6}$$

Dabei würden wir für S. Syntrex 136 kg/qcm
für Achatit 154 kg/qcm erhalten.

Abbildung 4: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung beim Biegeversuch.



Torsionsversuch von S. Syntrex und Achatit.

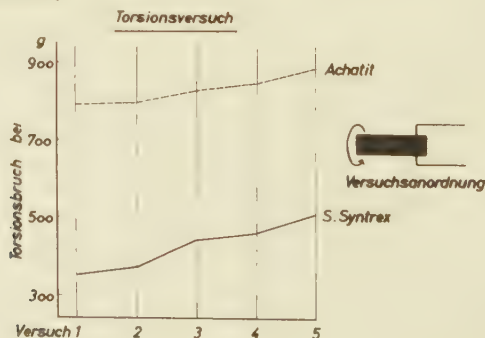
Probekörper von 6 mm ϕ und 25 mm Länge wurden an beiden Enden in eine Vorrichtung gespannt. Der freie Teil des Probekörpers, an dem das Drehmoment angreifen konnte, betrug 10 mm. Das eine Ende der Torsionsmaschine hatte ein bewegliches Gelenk, um beim Einspannen des Probekörpers keine Spannungen im Probekörper selbst auftreten zu lassen. Am anderen Ende der Maschine war ein Hebelarm angebracht, an dem man einen Topf anhängen konnte. Wurde nun der Topf langsam mit Schrot gefüllt, so trat bei einer gewissen Belastung der Torsionsbruch auf. Die Probekörper brachen dabei immer an der gleichen Stelle. Die eine Hälfte bildete dabei immer einen Kegel.

Leider konnte nur eine kleine Anzahl von Versuchen ausgeführt werden, da die Maschine ihren Dienst versagte und ein Ersatz nicht aufgetrieben werden konnte.

Ergebnis:	S. Syntrex		Achatit
1. Versuch:	Bruch bei	379 g	831 g
2. "	"	360 g	890 g
3. "	"	226 g	790 g
4. "	"	515 g	850 g
5. "	"	469 g	796 g
6. "	"	453 g	692 g
Summe:		2402 g	Summe: 4849 g
1. Mittelwert:	400 g		1. Mittelwert: 808 g
15 %	= 60 g		15 % = 121,2 g
Ausgeschieden werden bei S. Syntrex Versuch 3, bei Achatit Versuch 6.			
2. Mittelwert:	435.2 g		2. Mittelwert: 831.4 g
Maximum:	515.0 g		Maximum: 890.0 g

Beim Vergleich beider Werte ergibt sich ein prozentualer Unterschied von 90 %.

Abbildung 5: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung beim Torsionsversuch.



Kugelfallversuch von S. Syntrex und Achatit.

Versuchsbeschreibung: Eine Stahlkugel von 7 mm ϕ und 1,49 g wird auf die Probekörper von 24 x 4 x 4 mm fallengelassen. Die Probekörper liegen auf zwei Auflagen, die einen Abstand von 15 mm haben. Die Stahlkugel, die von einem Magneten gehalten wird und genau auf die Mitte der Probekörper justiert ist, wird beginnend von 12 cm Fallhöhe und fortlaufend um einen Zentimeter erhöht, auf den Probekörper fallengelassen. Gemessen wird, wenn der Probekörper gerade zerbricht.

Für manche Probekörper wurde mehrmals die Kugel von 27 cm Höhe fallengelassen, da das Gerät eine weitere Erhöhung nicht zuließ.

Ergebnis:	S. Syntrex	Achatit
1. Versuch:	16 cm	2 mal 27 cm
2. "	16 cm	21 cm
3. "	15 cm	25 cm
4. "	20 cm	7 mal 27 cm (30)
5. "	17 cm	23 cm
6. "	16 cm	7 mal 27 cm (30)
7. "	21 cm	6 mal 27 cm (30)
8. "	14 cm	25 cm
9. "	27 cm	4 mal 27 cm (29)
10. "	21 cm	3 mal 27 cm (29)
	<u>Summe: 183 cm</u>	<u>Summe: 270 cm</u>

1. Mittelwert: 18,3 cm
15 % ■ 2,7 cm

1. Mittelwert: 27,0 cm
15 % ■ 4,0 cm

Darum werden bei S. Syntrex der 3. und 8. Versuch ausgeschieden und bei Achatit der 2. und 5. Versuch.

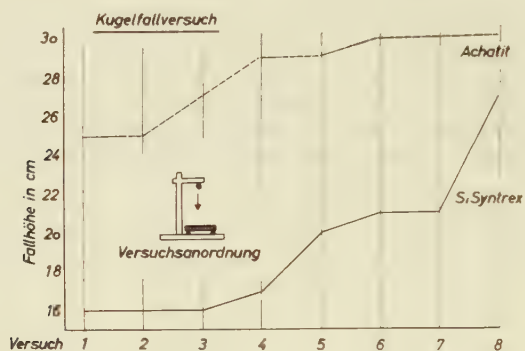
2. Mittelwert: 19,25 cm
Maximum : 27,0 cm

2. Mittelwert: 28,1 cm
Maximum : 7 mal 27,0 cm

Erläuterung: Bei der Berechnung des Mittelwerts von Achatit wurde bei den Werten 7 mal 27 cm Fallhöhe eine wahre Höhe von 30 cm angenommen und bei 4 und 3 mal eine von 29 cm.

Diese Probekörper wurden ebenfalls nach den Vorschriften der A. D. A. hergestellt, jedoch aus technischen Gründen erst nach 72 Stunden geprüft.

Abbildung 6: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung beim Kugelfallversuch.



Pendelschlagversuch bei einseitig eingespannten Probekörpern von S. Syntrex und Achatit.

In ein ZWICK-Pendelschlaggerät wurden Probekörper von 11 x 4 x 4 mm einseitig eingespannt und mit einem fallendem Pendel zum Bruch gebracht. Die Energie des Pendels betrug 1 kg·cm. Der Pendel wurde bei jedem Schlagversuch um 10 Grad angehoben, bis der Bruch des Probekörpers gerade eintrat. Begonnen wurde bei einem Fallwinkel von 10 Grad und dann jeweils um 10 Grad gesteigert. Das Pendel wurde nach jedem Auftreffen auf den Probekörper abgefangen, um einen weiteren Schlag, der durch die Elastizität des Probekörpers bedingt gewesen wäre, zu verhindern.

Ergebnis:		S. Syntrex		Achatit
1. Versuch:	Bruch bei	40 Grad		70 Grad
2.	" "	70 "		60 "
3.	" "	50 "		80 "
4.	" "	50 "		70 "
5.	" "	40 "		60 "
6.	" "	50 "		60 "
7.	" "	50 "		80 "
8.	" "	50 "		60 "
9.	" "	50 "		60 "
10.	" "	40 "		60 "
11.	" "	50 "		60 "
12.	" "	50 "		60 "
13.	" "	40 "		60 "
14.	" "	40 "		50 "
15.	" "	40 "		70 "
Summe:		710	Summe:	960

1. Mittelwert: 47 Grad
15 % = 7.05 Grad

1. Mittelwert: 64 Grad
15 % = 9.6 Grad

Bei S. Syntrex keine Ausscheidung, bei Achatit der 14. Versuch.

2. Mittelwert: 47 Grad
Maximum : 70 Grad

2. Mittelwert: 65 Grad
Maximum : 80 Grad

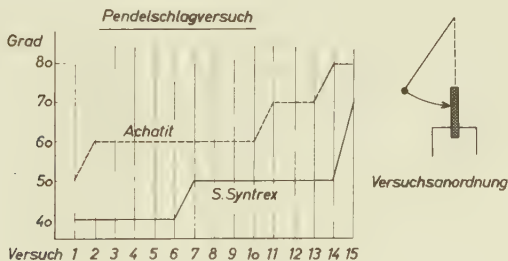
Bei der Umrechnung auf kg/cm nach den Formeln $V = 2 g h$

$$\text{und } E = \frac{m v^2}{2}$$

ergibt sich für S. Syntrex 0.167 kg/cm
und für Achatit 0.290 kg/cm

Das entspricht einem prozentualen Unterschied von 68 %.

Abbildung 8: Versuchsergebnisse und Versuchsanordnung beim Pendelschlagversuch.



IV. DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

1.) Die Druckfestigkeit.

Bei den Ergebnissen der Druckprüfung zeigt sich eine Überlegenheit von Super Syntrex über Achatit. Sowohl die Mittelwerte, als auch der Maximalwert von Super Syntrex liegen mehr als 300 kg/qcm über den Ergebnissen von Achatit. Beide Materialien übertreffen aber bei weitem die geforderte Minimalfestigkeit der A.D.A. nach 24 Stunden. Beide Materialien liegen im Durchschnitt 500 - 800 kg/qcm über dem geforderten Druck von 1650 kg/qcm.

Um jedes Fehlergebnis bei den Prüfungen zu vermeiden, das z.B. durch eine falsche Anrührtechnik hervorgerufen werden kann, stellte eine in der Herstellung von Probekörpern erfahrene Assistentin mit mir zusammen, aber unabhängig voneinander, ebenfalls Probekörper her, die dann mit meinen Probekörpern einem vergleichendem Test unterzogen wurden. Das Ergebnis zeigte keinerlei Unterschiede.

Ebenfalls untersucht wurde, ob bei kürzerem Verweilen der Probekörper im Thermostaten als eine Stunde -wir nahmen eine Zeit von 35 Minuten- eine geringere Druckfestigkeit erzielt würde. Das Ergebnis war überraschend. Es wurden im Mittel höhere Werte erzielt als bei den Probekörpern, die 60 Minuten im Thermostaten waren. Ein Unterschied konnte allerdings bei der Verwendung von kleinen Kunststoffformen und großen Metallformen festgestellt werden. Es wurde dabei nur S. Syntrex geprüft. Die Probekörper wurden nach Vorschrift der A.D.A. hergestellt, aber nur für 35 Min. im Thermostaten gelassen und dann bis zur Prüfung nach 24 Std. in destilliertem Wasser von 37 Grad Celsius aufbewahrt.

Ergebnis:

	Kunststoffform	Metallform
1. Versuch: Bruch bei	2456 kg/qcm	2226 kg/qcm
2.	2456 kg/qcm	2120 kg/qcm
3.	2262 kg/qcm	2120 kg/qcm
4.	2491 kg/qcm	2014 kg/qcm
5.	2862 kg/qcm	1944 kg/qcm
6.	2650 kg/qcm	2080 kg/qcm
<u>Mittelwert:</u>	<u>2520 kg/qcm</u>	<u>2080 kg/qcm</u>

Eine Erklärung kann man nur darin sehen, daß die Erwärmung der Metallformen eine viel längere Zeit in Anspruch nimmt, als die der kleineren Kunststoffformen und daß daher der Abbindevorgang ein anderer ist.

Für die oft enorm hohen Maximumwerte gibt es keine genügend befriedigende Erklärung. Wenn man sich die Korngröße des Pulvers vor Augen führt, so beträgt sie im Durchschnitt 0.003 mm, berechnet nach Analysen von COULTER COUNTER. Sollten nun in einer Mischung einige Körner von wesentlich größerem Durchmesser sein, kann der Druck der Probekörper nicht mehr so hoch sein, da die Homogenität der Mischung nicht mehr so innig ist.

Bei den enorm hohen Maximumwerten, die nur sehr selten erhalten werden, befinden sich wahrscheinlich nur Korngrößen von 0.003 mm im Pulver, die Anrührtechnik ist zufällig noch exakter als sonst und das Beschleifen der Probekörper wird vielleicht gerade hier noch sorgfältiger vorgenommen. Das Ergebnis ist dann ein sehr hoher Wert, der den Mittelwert ebenso hoch überragt, wie manche Probekörper, so extrem niedere Werte geben. Hier haben wir ebenfalls keine Erklärung, es sei denn in den Probekörper waren Luftblasen eingeschlossen.

Zu diesem Maximumwert sagt DIECK, er sei der einzige richtige Wert. Er sagt, von 10 Versuchen sei nur einer richtig, die 9 anderen Werte falsch.

Rawitzer W. sagt, es muß bei einer Materialprüfung eine genügend große Menge von Versuchen unternommen werden, um den Mittelwert angeben zu können. Man hat es offenbar nicht in der Hand, das günstigste Resultat nach Belieben herzustellen. Soweit sich zeigt, daß durch irgendwelche Änderungen in der Vorbereitung der Prüfkörper, oder in der Versuchsanordnung günstigere Resultate zu erzielen sind, besteht das Argument von DIECK zu Recht. Sofern sich aber zeigt, daß sorgfältigste Arbeit nicht dafür garantieren kann, daß der optimale Wert immer erreicht wird, hat dieser Maximumwert nur den Rang eines Kuriosums. Es interessiert dann nur die Frage: Mit welchem Wert hat man beim Legen einer Füllung zu rechnen, d.h. welcher Wert ist der wahrscheinlichste?

Wie soll der maximale Wert ermittelt werden, d.h. wie kann man beweisen, daß irgendein Wert wirklich der höchst erreichbare ist? Die Mittelwerte aus zwei Versuchsreihen ergeben auch zwei Ergebnisse. Aber diese Ergebnisse unterscheiden sich grundlegend von den maximalen Werten. Da bei 10 Versuchen 9 als falsch verworfen werden und nur einer als geglückt bezeichnet werden kann, ist das ein unbefriedigender Erfolg wissenschaftlicher Tätigkeit. Umso mehr, als man vermuten muß, daß auch der nunmehr höchste Wert sich eines Tages als falsch entpuppt und ein noch höherer Wert an seine Stelle tritt.

Man kann also nur die Größe des richtigen, nämlich des maximalen Wertes von Versuch zu Versuch genauer angeben, doch ist diese Genauigkeit völlig unbefriedigend, da man ja nicht weiß, wie hoch liegt der absolute Maximalwert.

Anders beim Mittelwert: Je mehr Versuche, desto genauer wird der Mittelwert begrenzt. Der maximale Wert stellt eine Verschiebung des richtigen Wertes dar, der Mittelwert eine genauere Begrenzung und Bestimmung.

Da ich mich der Meinung von RAWITZER W. angeschlossen habe, gelten bei meinen Versuchsergebnissen immer die Mittelwerte, die Maxima sind nur zur Orientierung angegeben.

DOLDER E. hatte in seinen Untersuchungen über Silikate mit und ohne Glasfaserzusatz auch von einer geringeren Druckfestigkeit der Gitterwerkstoffe berichtet, was ich nur bestätigen kann.

Genügen nun die heutigen Silikatzemente mit ihrer wesentlich höheren Druckfestigkeit den Anforderungen im Munde, z.B. speziell als Eckenaufbau im Frontzahngebiet?

SCHRÖDER H. hatte nach seinen Berechnungen festgestellt, der Kaudruck der mittleren Schneidezähne beträgt 15,8 kg. Nehmen wir an, an einem mittleren Schneidezahn ist eine Ecke durch Silikatcement ersetzt worden, und die dem Kaudruck ausgesetzte Oberfläche beträgt gerade 1 qmm, so wird beim Beißen auf ein kleines Knochenstückchen, der gesamte Kaudruck auf die Füllung übertragen.

Da die Silikatzemente einen Druck von mehr als 2000 kg/qcm aushalten, das sind 20 kg/qmm, würde die Füllung die Belastung ohne weiteres ertragen, wenn der Druckanstieg ein gleichmäßig langsamer wäre.

Aber da bei plötzlich auftretender Belastung die Festigkeitswerte wesentlich tiefer liegen und die im Munde auftretenden Kräfte wesentlich höher sind, -hier kommt dann auch das Abschermoment und die Schlagbiegefestigkeit zum Ausdruck- können wir auch mit den heutigen Silikatzementen, -gleichgültig ob mit oder ohne Faserzusatz- keine Eckenaufbauten an Frontzähnen ausführen, da wir bei einem ungünstigen Belastungsmoment unweigerlich einen Bruch der Füllung erleben werden.

Darum verwenden wir heute Silikate nur für Füllungen an solchen Teilen der Zähne, die nicht direkt dem Kaudruck ausgesetzt sind. Für Eckenaufbauten tritt immer die Gußfüllung in ihr Recht, bzw. die Porzellanfüllung oder die Jacketkrone, da Eckenaufbauten aus Silikatcement stets zu einem Mißerfolg führen (SCHUG-KÖSTERS (12).

2.) Die Spaltzugfestigkeit.

Sie ist eine besondere Art der Festigkeitsprüfung und wird hauptsächlich in der Betonindustrie angewandt. Dabei wird der zylindrische Probekörper gespalten, wie ein Baumstamm der in der horizontalen Lage mit Keilen in der vertikalen Richtung zerteilt wird.

Bei unseren kleinen Probekörpern konnte auf die Anwendung eines Keiles verzichtet werden, da die Spaltzugwirkung durch die strichförmige Auflage der Pressbacken ebenso zur Geltung kam. Interessant war es bei dieser Versuchsreihe, ob hier die Faser wirklich eine Verstärkung der Zugfestigkeit zur Folge hatte, wie sie schon A. Knappwost bei seinen Untersuchungen festgestellt hatte.

Das Ergebnis war eindeutig: Silikatzemente mit Faserzusatz übertreffen solche ohne Fasern um das Doppelte an Zugfestigkeit. In meinen Versuchen kam ich zu folgendem Ergebnis:

S. Syntrex; Mittelwert 55 kg

Achatit; Mittelwert 114,6 kg

Bei diesen Größenangaben sind die Werte in kg angegeben, bei denen die Probekörper gespalten wurden. Eine Umrechnung auf kg/qcm wurde zwar vorgenommen, kann aber bei diesen vergleichenden Untersuchungen unterlassen werden, da das Verhältnis das gleiche ist. Die Unterschiede wurden statistisch errechnet und gesichert.

3. Die Biegefestigkeit.

Es wurden zwei Arten von Biegefestigkeitsuntersuchungen vorgenommen.

A. Die erste Untersuchung wurde mit Probekörpern von $24 \times 4 \times 4$ mm durchgeführt. Die Körper befanden sich auf zwei Auflagen von 18 mm Abstand und wurden in der Mitte mit einem Keil belastet. Die Spannungen im Probekörper sind hier von besonders komplizierter Art, auf der Seite, an der der Keil angreift, tritt reiner Druck auf, auf der anderen Seite tritt dagegen reiner Zug auf, in der Mitte befindet sich die neutrale Faser. Nur diese Fasern behalten bei ihrer Biegung die ursprüngliche Länge. Die Nulllinie (neutrale Faser) geht durch den Schwerpunkt des Querschnitts und trennt die gedehnten Fasern (Zug) so von den verkürzten (Druck), daß die Zug- und Druckspannungen proportional im Abstand von ihr zunehmen.

Da hier also Zug und Druck kombiniert auf den Probekörper einwirken, könnte man annehmen, da die Zugfestigkeit von Achatit wesentlich höher ist, als die von S. Syntrex und die Druckfestigkeit von S. Syntrex höher ist als die von Achatit, -proportional gesehen ist der Zugfestigkeitsunterschied höher als der Druckfestigkeitsunterschied- daß Achatit beim Biegeversuch bessere Werte ergeben müsste als S. Syntrex. Tatsächlich konnte aber nur ein geringfügiger Unterschied festgestellt werden, der sich statistisch nicht sichern ließ. Man konnte bei genauer Beobachtung der Probekörper während der Belastung feststellen, daß S. Syntrex ohne vorheriges Anzeichen durchbrach, während man bei Achatit kurz vor dem völligen Bruch einen feinen Riß sehen konnte. Betrachtete man die Bruchflächen von Achatit mit einer Lupe, so sah man die Glasfasern herausragen.

B. Die zweite Untersuchung wurde mit Probekörpern von $14 \times 10 \times 4$ mm auf einem Dynstatgerät durchgeführt. In meinen Versuchsergebnissen wird sie als statische Biegefestigkeit bezeichnet.

Die Probekörper waren an beiden Enden fest eingespannt, der Abstand zwischen den Spannbacken betrug 4 mm. Am untern Spannbacken hing ein Pendel, daß mit diesem fest verbunden war. Mittels einer Drehvorrichtung konnte man das mit dem Probekörper verbundene Pendel von der vertikalen in die horizontale Lage drehen, bis der Probekörper zerbrach. Mit Hilfe eines Schleppzeigers konnte man an einer Skala die Belastung des Pendels in kg·cm ablesen.

Hier waren die Ergebnisse umgekehrt als bei der ersten Versuchsreihe.

S. Syntrex hielt eine höhere Belastung aus als Achatit. Eine Erklärung kann nur dadurch gefunden werden, daß bei diesem Versuch durch die Art der Einspannung das Druckmoment überwog und so die Faser nicht zur Geltung kommen konnte.

Hier ist der Unterschied der beiden Materialien nur bis $S = 99\%$ statistisch gesichert (siehe Anhang).

Ergebnis:	S. Syntrex	Achatit
1. Untersuchung:	3,60 kgxcm	3,66 kgxcm
2. Untersuchung:	9,36 kgxcm	7,95 kgxcm

Da die beiden Untersuchungen auf verschiedenen Apparaten unternommen wurden, die Form der Probekörper und die Belastungsart verschieden war, erklärt sich auch der große Unterschied zwischen Untersuchung 1 und 2 in Bezug auf die Größe der Belastung.

4. Der Torsionsversuch.

Beim Drehversuch ergeben die auf den geraden stabförmigen Körper einwirkenden äußeren Kräfte ein Kräftepaar, dessen Ebene senkrecht zur Achse des Stabes steht. Durch das Drehmoment wird ein Gegenmoment erzeugt und die einzelnen Querschnitte werden um die Achse des Probekörpers verdreht. Es entsteht eine Schraubenlinie.

Hier muß bei einfacher Überlegung des Versuchsvorganges klar sein, daß die Faser des Achatits voll zur Geltung kommen muß.

Das Ergebnis zeigt uns die Richtigkeit der Überlegung an.

Achatit übertrifft S. Syntrex fast um das Doppelte, nämlich

Achatit: Mittelwert 831,4 g

S. Syntrex " 435,2 g

5. Der Kugelfallversuch.

Die Glasfaser des Achatits macht das ganze Material elastischer und widerstandsfähiger gegen Schlag- und Fallkräfte. Das zeigte sich auch beim Kugelfallversuch. Während bei Achatit die Kugel fast immer beim Aufprall auf den Probekörper federnd zurückgeworfen wurde (ähnlich wie ein Gummiball vom festen Boden) und sich erst bei größeren Fallhöhen die Ermüdung des Probekörpermaterials bemerkbar machte -es war auch am Klang gut zu hören, zuerst gab es einen hellen Ton und kurz vor dem Bruch einen dumpfen- trat bei S. Syntrex schon nach wenigen Fallversuchen die Ermüdung des Materials ein, die dann sehr rasch zum Bruch führte.

Ergebnis:	S. Syntrex	Achatit
Mittelwert	19,25 cm	29,10 cm

6. Pendelschlagversuch.

Auch hier zeigte sich Achatit dem S. Syntrex überlegen. Ebenso wie beim Kugelfallversuch tritt die größere Elastizität des Achatits in Erscheinung. Bei der Berechnung der Schlagenergie nach den Formeln: $V = 2gh$

und $E = \frac{m v^2}{2}$ ergibt sich für Achatit ein Wert von 0,290 kg/cm, für S.Syntrex 0,167 kg/cm. Das entspricht einem Unterschied von fast 70 %.

Problematik von Labor und Praxis.

Bei der abschließenden Betrachtung der Versuchsergebnisse sehen wir große Unterschiede im Verhalten der beiden Materialien auf verschiedene Beanspruchungsarten. In allen Fällen, wo der Druck das vorherrschende Moment ist, zeigt sich S.Syntrex der Firma De Trey dem Achatit der Firma Vivadent überlegen. In allen andern Fällen, in denen die Materialien auf Zug, Schlag und Torsionsfestigkeit geprüft wurden, war das Achatit durch die Einlagerung von Glasfasern dem S.Syntrex eindeutig überlegen. Wenn wir betrachten, daß beide Materialien eine völlig genügende Druckfestigkeit aufweisen, Achatit aber durch seine andern Eigenschaften das S.Syntrex überragt, können wir, wenn wir nur die Materialprüfung im Labor ins Auge fassen, feststellen: "Achatit hat die besseren physikalischen Eigenschaften".

Um aber eine gerechte Beurteilung geben zu können, müssen wir auch diskutieren, welchen Belastungen sind die beiden Materialien im Munde ausgesetzt.

Überall wo eine Füllung dem Kaudruck ausgesetzt ist, sei es an der okklusalen Fläche oder bei einem Distalbiß mit Abstützung der unteren Incisivi an den palatinalen Flächen der oberen Incisivi, tritt fast ausschließlich das Druckmoment in Erscheinung.

Torsion und Biegebeanspruchung kommen meiner Meinung nach im Munde nicht vor, da ja alle Füllungen durch die Technik der Kavitätenherstellung fest verankert sind und somit keinen Angriffspunkt für diese beiden Momente bieten. Spaltzugfestigkeit, Pendelschlag und Kugelfallversuch würden auf Mundverhältnisse übertragen nur bei Eckenaufbauten zur Wirkung kommen, aber da schon eingehend erörtert wurde, daß auch die heutigen Silikatzemente dafür nicht in Frage kommen, haben die besseren Zugfestigkeits- und Elastizitätseigenschaften von Achatit nur geringe Bedeutung.

So imponierend im Laborversuch in einigen Fällen die Überlegenheit des Achatits war, so wenig bedeutend ist sie in der Praxis, da wir es hauptsächlich mit reinem Druck zu tun haben. Was dies aber betrifft, ist das S.Syntrex dem Achatit sogar etwas überlegen.

Abschließend möchte ich feststellen; Beide Materialien genügen bei den beschränkten Anwendungsmöglichkeiten im Munde den Anforderungen in physikalischer Hinsicht. Bemerkenswert sind die großen Bestrebungen der Hersteller, ihre Fabrikate immer mehr zu verbessern und die Zahnärzte können hoffen, einmal mit Hilfe von Silikatzementen auch größere Defekte an Frontzähnen (Eckenaufbauten) wieder herzustellen. Das Problem dieser ganzen Untersuchungen liegt darin, daß im Labor unter optimalen und vorher genau festgelegten Bedingungen Versuche durchgeführt werden, die den Verhältnissen im Munde möglichst nahe

kommen sollen. Das ist aber nicht möglich, denn im Munde kommen zu den rein physikalischen Momenten auch chemische Einflüsse hinzu, so z. B. der Speichel oder die Nahrung, die den physikalischen Charakter mancher Silikatzemente sehr zu ändern vermögen. Ich möchte hier auf die Arbeit von G. C. PFAFFENBARGER (13) hinweisen, der diese Probleme eingehend erörtert hat.

In dem folgendem Übersichtsbild sind die physikalischen Untersuchungsergebnisse noch einmal gegenübergestellt.

Dabei bedeuten große Punkte: besser
gleiche Punkte: gleichwertig

	<i>S. Syntrex</i>	<i>Achatit</i>
<i>Druckfestigkeit</i>	●	•
<i>Scherversuch</i>	•	•
<i>Spaltzugfestigkeit</i>	•	●
<i>Biegemoment</i>	•	•
<i>Stat. Biegefestigkeit</i>	●	•
<i>Torsionsversuch</i>	•	●
<i>Pendelschlagversuch</i>	•	●
<i>Kugelfallversuch</i>	•	●

V. ZUSAMMENFASSUNG

In der Einleitung wurde auf die Prüfvorschriften für Silikatzemente hingewiesen und einige Grundeigenschaften der Silikate aufgezählt. Auf das Problem des Glasfaserzusatzes wurde ausführlich eingegangen. Es folgte die Herstellung und die Festigkeitseigenschaften von Silikatzementen. Im Literaturteil wurde die Herstellung und Prüfung von Probekörpern beschrieben, mit besonderer Berücksichtigung der Methodik des Anrührens und der Bestimmung einer Standardkonsistenz. Alle Probekörper wurden nach Vorschrift der A.D.A., hier war Spezifikation Nr. 9 maßgebend, hergestellt. Es wurden nur physikalische Untersuchungen angestellt. Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit, Pendelschlag, Torsion und Fallversuch wurden durchgeführt. Die Prüfung dieser Versuchskörper konnte freundlicherweise bei den Firmen Vivadent, De Trey, Dyckerhoff und Wacker-Chemie, die dafür geeignete Apparate besitzen, erfolgen. Die Versuchsergebnisse zeigen bei den Prüfungen, bei denen Druck das vorherrschende Moment war eine Überlegenheit des S. Syntrex, bei den Prüfungen, in denen Zug, Torsion und Schlag vorherrschen, eine eindeutige Überlegenheit von Achatit.

Auf Mundverhältnisse übertragen, wurde festgestellt, beide Materialien genügen den Anforderungen in physikalischer Hinsicht, da fast ausschließlich Druckmomente auftreten.

Die Ergebnisse wurden graphisch und tabellarisch zusammengestellt. Die steigenden Linien in den graphischen Darstellungen ergeben sich aus den Einzelversuchen nach steigend angeordneten Werten. In den Tabellen wurde für alle Ergebnisse die mittlere quadratische Abweichung (Standardabweichung) sowie der Variationskoeffizient berechnet. Dann wurden die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den beiden Materialien auf mathematischer Grundlage statistisch gesichert.

VI. ANHANG

Berechnung der mittleren quadratischen Abweichung s (Standardabweichung) mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden. Sämtliche Untersuchungsergebnisse werden hier durch Berechnung auf mathematisch-statistischer Grundlage vervollständigt.

Es werden berechnet:

1. die mittlere quadratische Abweichung (Standardabweichung) s (Streuung = Varianz = s^2)

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \right)^2 \right]$$

N = Anzahl der Einzelversuche

$\bar{x}$ = errechneter Mittelwert

x_i = Versuchswert

$x_i - \bar{x}$ = Differenz zwischen Versuchswert und Mittelwert

Anmerkung: Die mittlere quadratische Abweichung stellt ein besonders statistisches Streuungsmass dar und gibt die Schwankung einzelner Werte einer Reihe um einen Mittelwert an.

3. der Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{x}$ bei der Sicherheit

$$S = 99.9\% \quad \bar{x} \pm t \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$\bar{x}$ = errechneter Mittelwert

t = Prüfgröße

s = mittlere quadratische Abweichung

N = Anzahl der Einzelversuche

n = Freiheitsgrad $n = N - 1$

Prüfgröße t ist abhängig vom Freiheitsgrad.

4. Der Unterschied zweier Mittelwerte.

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$\text{Prüfgröße } t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

Freiheitsgrad

$$n = N_1 + N_2 - 2$$

Mittlere quadratische Abweichung der Druckproben
von SUPERSYNTAX (Seite 14) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	650	- 35	1225
2	550	- 35	1225
3	655	- 30	900
4	700	+ 15	225
5	695	+ 10	100
6	675	- 10	100
7	755	+ 70	4900
8	655	- 30	900
9	670	- 15	225
10	720	+ 35	1225
11	710	+ 25	625
$\sum X_i$ 7535		$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$ ± 0	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$ 11650

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 685$

$$s^2 = \frac{-1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right];$$

$$s^2 = \frac{1}{10} \times 11650$$

$$s = \sqrt{1165} = 34.1321$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \left(\frac{s}{\bar{X}} \right) 100 \% \quad V = 4.9 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 685$ bei einer statistischen Sicherheit $S = 99.9 \%$.

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 10$$

$$685 \pm 4.59 \frac{34.1321}{3.3166} = 638.2$$

$$t = 4.59$$

Mittlere quadratische Abweichung der Druckproben
von ACHATIT und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	550	- 39	1521
2	530	- 59	3481
3	620	+ 31	961
4	665	+ 76	5776
5	500	- 89	7921
6	600	+ 11	121
7	600	+ 11	121
8	640	+ 51	2601
9	550	- 39	1521
10	570	- 19	361
11	650	+ 61	3721

$$\sum X_i = 6475 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = 0 \quad - 4 \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 28106$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 589$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right];$$

$$s^2 = \frac{1}{10} \left[28106 - \frac{1}{11} \cdot 16 \right]$$

$$s^2 = 2810.455$$

$$s = 53.12$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 9 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 589$ bei einer statistischen Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$589 \pm 4.59 \cdot \frac{53.12}{3.3166} = 662.5$$

$$n = 10$$

$$t = 4.59$$

Mittlere quadratische Abweichung bei der Spaltzugfestigkeit
von SUPERSYNTREX (Seite 16) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	80	+ 22	484
2	60	+ 2	4
3	75	+ 17	289
4	50	- 8	64
5	50	- 8	64
6	75	+ 17	289
7	50	- 8	64
8	50	- 8	64
9	50	- 8	64
10	50	- 8	64
11	50	- 8	64
12	65	+ 7	49
13	50	- 8	64

$\sum_{i=1}^N X_i$	755	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$	+ 1	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$	1627
--------------------	-----	--------------------------------	-----	----------------------------------	------

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 58$
 =====

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{12} \left[1627 - \frac{1}{13} \cdot 1 \right]$$

$$s^2 = 135,58$$

$$s = 11,642$$

=====

Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \%$

$$V = 20,1\%$$

=====

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 58$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99,9 \%$:

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$58 \pm 4,32 \frac{11,642}{3,6056} = \frac{71,94}{44,06}$$

=====

$$n = 12$$

$$t = 4,32$$

Mittlere quadratische Abweichung bei der Spaltzugfestigkeit
von ACHATIT und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	110	- 6.4	40.96
2	100	- 16.4	268.96
3	110	- 6.4	40.96
4	130	+ 13.6	184.96
5	135	+ 18.6	345.96
6	120	+ 3.6	12.96
7	110	- 6.4	40.96
8	110	- 6.4	40.96
9	115	- 1.4	1.96
10	145	+ 28.6	817.96
11	120	+ 3.6	12.96
12	120	+ 3.6	12.96
13	110	- 6.4	40.96
14	100	- 16.4	268.96

$$\sum X_i = 1635 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = 0 \quad + \quad 5.4 \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 2132.44$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 116.4$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{13} \left[2132.44 - \frac{1}{14} 29.16 \right]$$

$$s^2 = 163.874$$

$$s = 12.799$$

Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 10.8 \%$

Vertrauensbereich des Mittelwerts $\bar{X} = 116.4$ bei einer statistischen Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$116.4 \pm 4.22 \frac{12.799}{3.7417} \quad 130.76$$

$$n = 13$$

$$t = 4.22$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Biegeversuch
von SUPERSYNTREX (Seite 20) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	4.0	+ 0.4	0.16
2	3.3	- 0.3	0.09
3	3.3	- 0.3	0.09
4	3.2	- 0.4	0.16
5	3.9	+ 0.3	0.09
6	4.2	+ 0.6	0.36
7	3.8	+ 0.2	0.04
8	3.3	- 0.3	0.09
9	3.5	- 0.1	0.01
10	4.1	+ 0.5	0.25
11	3.6	0.0	0.00
12	3.6	0.0	0.00
13	3.6	0.0	0.00
14	3.1	- 0.5	0.25

$$\sum X_i = 50.5 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = + 0.1 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 1.59$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 3.60$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{13} \left[1.59 - \frac{1}{14} \cdot 0.01 \right]$$

$$s^2 = 0.122$$

$$s = 0.349$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 9.6 \%$$

$$*****$$

Vertrauensbereich des Mittelwerts $\bar{X} = 3.60$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \sqrt{\frac{s}{N}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N - 1$$

$$3.60 \pm 4.22 \frac{0.349}{3.7417} = 3.99$$

$$n = 13$$

$$t = 4.22$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Biegeversuch
von ACHATIT und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	3.5	- 0.16	0.0256
2	3.5	- 0.16	0.0256
3	3.8	+ 0.14	0.0196
4	4.4	+ 0.74	0.5476
5	3.5	- 0.16	0.0256
6	3.6	- 0.06	0.0036
7	3.5	- 0.16	0.0256
8	3.6	- 0.06	0.0036
9	3.6	- 0.06	0.0036
10	3.6	- 0.06	0.0036
11	3.7	+ 0.04	0.0016
12	3.6	- 0.06	0.0036
13	4.1	+ 0.44	0.1936
14	3.4	- 0.26	0.0676
15	3.6	- 0.06	0.0036
$\sum X_i$	55.0	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$	$+ 0.1 \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$
			0.9540

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 3.66$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{14} \left[0.9540 - \frac{1}{15} \cdot 0.01 \right]$$

$$s^2 = 0.067$$

$$s = 0.26$$

Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 7.1 \%$

Vertrauensbereich des Mittelwerts $\bar{X} = 3.66$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \%$:

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 14$$

$$3.66 \pm 4.14 \frac{0.26}{3.873} = 3.94$$

$$t = 4.14$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Torsionsversuch
von SUPERSYNTREX (Seite 22) und Variationskoeffizient

i	Xi	(Xi- $\bar{X}$)	(Xi- $\bar{X}$) ²
1	379	- 56.2	3158.44
2	360	- 75.2	5655.04
3	515	+ 79.8	6368.04
4	469	+ 33.8	1142.44
5	453	+ 17.8	316.84
$\sum Xi$		2176	$\sum_{i=1}^N (Xi-\bar{X})$
		± 0.00	$\sum_{i=1}^N (Xi-\bar{X})^2$
			16640.80

Mittelwert: $\bar{X} = Xi : i = 435.2$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (Xi-\bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (Xi-\bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{4} 16640.80$$

$$s^2 = 4160.20$$

$$s = 64.4$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \% \quad V = 14.7 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwerts $\bar{X} = 435.2$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$435.2 \pm 4.60 \frac{64.4}{2.2361} = 567.2$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N - 1$$

$$n = 4$$

$$t = 4.60$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Torsionsversuch
von ACHATIT und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	831	- 0.4	0.16
2	890	+ 58.6	3433.96
3	790	- 41.4	1713.96
4	850	+ 18.6	345.96
5	796	- 35.4	1253.16

$$\sum X_i = 4157 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = \pm 0 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 6747.20$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 831.4$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{4} 6747.2$$

$$s^2 = 1686.8$$

$$s = 41.06$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \% \quad V = 4.9 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 831.4$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$831.4 \pm 4.60 \frac{41.06}{2.236} = 915.8$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 4$$

$$t = 4.60$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Kugelfallversuch
von SUPERSYNTREX (Seite 23) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$		
1	16	- 3.25	10.5625		
2	16	- 3.25	10.5625		
3	20	+ 0.75	0.5625		
4	17	- 2.25	5.0625		
5	16	- 3.25	10.5625		
6	21	+ 1.75	3.0625		
7	27	+ 7.75	60.0625		
8	21	+ 1.75	3.0625		
$\sum X_i$	154	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$	± 0.00	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$	103.50

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 19.25$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{7} \cdot 103.5$$

$$s^2 = 14.785$$

$$s = 3.845$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 19.9 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 19.25$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 7$$

$$19.25 \pm 5.41 \quad \frac{3.845}{2.8284} \quad 26.60$$

$$t = 5.41$$

$$11.90$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Kugelfallversuch
von ACHATIT und Variationskoeffizienten

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	27	- 1.125	1.265625
2	25	- 3.125	9.765625
3	30	+ 1.875	3.515625
4	30	+ 1.875	3.515625
5	30	+ 1.875	3.515625
6	29	+ 0.875	0.765625
7	25	- 3.125	9.765625
8	29	+ 0.875	0.765625

$$\sum X_i = 225 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = \pm 0.00 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 32.8750$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 28.125$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{7} 32.875$$

$$s^2 = 4.696$$

$$s = 2.167$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \% \quad V = 7.7 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 28.125$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N - 1$$

$$n = 7$$

$$28.125 \pm 5.41 \frac{2.167}{2.8284} = \frac{32.27}{23.98}$$

$$t = 5.41$$

Mittlere quadratische Abweichung bei der statischen Biegefestigkeit
von SUPERSYNTEX (Seite 25) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$		
1	8.2	- 1.16	1.3456		
2	9.9	+ 0.54	0.2916		
3	8.5	- 0.86	0.7396		
4	9.6	+ 0.24	0.0576		
5	9.8	+ 0.44	0.1936		
6	9.7	+ 0.34	0.1156		
7	9.3	- 0.06	0.0036		
8	9.9	+ 0.54	0.2916		
$\sum X_i$	74.9	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$	- 0.02	$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$	3.0388

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 9.36$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{7} \left[3.0388 - \frac{1}{8} 0.004 \right]$$

$$s^2 = 0.433$$

$$s = 0.6582$$

Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \%$ $V = 7 \%$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 9.36$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \%$:

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$9.36 \pm 5.41 \frac{0.6582}{2.8284} = \frac{10.60}{8.12}$$

$$n = 7$$

$$t = 5.41$$

Mittlere quadratische Abweichung bei der statischen Biegefestigkeit
von ACHATIT und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	8.8	+ 0.85	0.7225
2	9.1	+ 1.15	1.3225
3	7.3	- 0.65	0.4225
4	7.5	- 0.45	0.2025
5	6.8	- 1.15	1.3225
6	9.2	+ 1.25	1.5625
7	6.9	- 1.05	1.1025
8	9.0	+ 1.05	1.1025
9	7.0	- 0.95	0.9025

$$\sum X_i = 71.6 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = + 0.05 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 8.6625$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 7.95$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{8} [8.6625 - \frac{1}{9} 0.0025]$$

$$s^2 = 1.0828$$

$$s = 1.0408$$

Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \% \quad V = 13 \%$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 7.95$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 8$$

$$7.95 \pm 5.04 \frac{1.0408}{3} = 9.70$$

6.20

$$t = 5.04$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Pendelschlagversuch
von SUPERSYNTREX (Seite 26) und Variationskoeffizient

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	40	- 7	49
2	70	+ 23	529
3	50	+ 3	9
4	50	+ 3	9
5	40	- 7	49
6	50	+ 3	9
7	50	+ 3	9
8	50	+ 3	9
9	50	+ 3	9
10	40	- 7	49
11	50	+ 3	9
12	50	+ 3	9
13	40	- 7	49
14	40	- 7	49
15	40	- 7	49

$$\sum X_i = 710 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = + 5 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 895$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 47$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{14} 895 - \frac{1}{15} 25$$

$$s^2 = 63.807$$

$$s = 7.9877$$

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} 100 \% \quad V = 16.9 \%$$

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 47$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \%$:

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$47 \pm 4.14 \frac{7.9877}{3.8730} = 56.60$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$

$$n = 14$$

$$t = 4.14$$

Mittlere quadratische Abweichung beim Pendelschlagversuch
von ACHATIT und Variationskoeffizienten

i	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	70	+ 5	25
2	60	- 5	25
3	80	+ 15	225
4	70	+ 5	25
5	60	- 5	25
6	60	- 5	25
7	80	+ 15	225
8	60	- 5	25
9	60	- 5	25
10	60	- 5	25
11	60	- 5	25
12	60	- 5	25
13	60	- 5	25
14	70	+ 5	25

$$\sum_{i=1}^N X_i = 910 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) = \pm 0 \quad \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 750$$

Mittelwert: $\bar{X} = X_i : i = 65$
 =====

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \right)^2 \right]$$

$$s^2 = \frac{1}{13} \cdot 750$$

$$s^2 = 57.69$$

$$s = 7.5853$$

=====

$$\text{Variationskoeffizient } V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \% \quad V = 11.6 \%$$

=====

Vertrauensbereich des Mittelwertes $\bar{X} = 65$ bei einer statistischen
Sicherheit $S = 99.9 \% :$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N - 1$$

$$n = 13$$

$$65 \pm 4.22 \frac{7.5858}{3.7417} = \frac{74.58}{55.42}$$

$$t = 4.22$$

=====

Berechnung der Unterschiede der Mittelwerte beider Materialien bei den verschiedenen Versuchen nach statistischen Gesichtspunkten

1. Druckfestigkeit

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{1165(10) + 2810.45(10)}{20}$$

$$s_d^2 = 1987.7$$

$$s_d = 44.56$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$t = \frac{685 - 589}{44.56} \sqrt{\frac{121}{22}}$$

$$t = 2.15 \times 2.34$$

$$t = 5.03$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 20$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99.9 \%$$

$$t = 2.09$$

$$t = 2.85$$

$$t = 3.85$$

Der Unterschied ist statistisch gesichert.

2. Spaltzugfestigkeit:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{135.53(12) + 163.87(13)}{25}$$

$$s_d^2 = 150.29$$

$$s_d = 12.259$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$t = \frac{116.4 - 58.0}{12.259} \sqrt{\frac{14 \times 13}{27}}$$

$$t = 4.77 \times 2.596$$

$$t = 11.18$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 25$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99.9 \%$$

$$t = 2.060$$

$$t = 2.787$$

$$t = 3.725$$

Der Unterschied ist statistisch gesichert.

3. Biegemoment:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{0,122 (13) + 0,067 (14)}{27}$$

$$s_d^2 = \frac{1,535 + 0,938}{27}$$

$$s_d^2 = 0,0934$$

$$s_d = 0,3056$$

=====

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 27$$

$$t = \frac{3,66 - 3,60}{0,3056} \sqrt{7,24}$$

$$t = 0,196 \times 2,69$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99,9 \%$$

$$t = 0,527$$

=====

$$t = 2,05$$

=====

$$t = 2,77$$

=====

$$t = 3,69$$

=====

Der Unterschied ist statistisch nicht gesichert.

4. Pendelschlagversuch:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{57,69 (13) + 63,807 (14)}{27}$$

$$s_d^2 = 60,861$$

$$s_d = 7,8016$$

=====

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 27$$

$$t = \frac{65 - 47}{7,8016} \sqrt{7,24}$$

$$t = 2,30 \times 2,69$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99,9 \%$$

$$t = 6,187$$

=====

$$t = 2,05$$

=====

$$t = 2,771$$

=====

$$t = 3,690$$

=====

Der Unterschied ist statistisch gesichert.

5. Torsionsversuch:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_d^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{1686.8 (4) + 4160.2 (4)}{8}$$

$$s_d^2 = 2923.5$$

$$s_d = 54.124$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 8$$

$$t = \frac{831.4 - 435.2}{54.124} \quad 2.5$$

$$t = 7.32 \times 1.581$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99.9 \%$$

$$\underline{\underline{t = 11.573}}$$

$$\underline{\underline{t = 2.31}}$$

$$\underline{\underline{t = 3.36}}$$

$$\underline{\underline{t = 5.04}}$$

Der Unterschied ist statistisch gesichert.

6. Kugelfallversuch:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + 1 + s_d^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{4.69 (7) + 14.785 (7)}{14}$$

$$s_d^2 = 9.74$$

$$s_d = 3.1208$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 14$$

$$t = \frac{28.125 - 19.250}{3.1208} \sqrt{\frac{64}{16}}$$

$$t = 2.843 \times 2$$

$$S = 95 \%$$

$$S = 99 \%$$

$$S = 99.9 \%$$

$$\underline{\underline{t = 5.686}}$$

$$\underline{\underline{t = 2.15}}$$

$$\underline{\underline{t = 2.98}}$$

$$\underline{\underline{t = 4.14}}$$

Der Unterschied ist statistisch gesichert.

7. Statische Biegefestigkeit:

$$s_d^2 = \frac{s_1^2 (N_1 - 1) + s_2^2 (N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$s_d^2 = \frac{0.433 (7) + 1.0828 (8)}{15}$$

$$s_d^2 = 0.7795$$

$$s_d = 0.8834$$

$$t = \frac{x_1 - x_2}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

$$t = \frac{9.36 - 7.95}{0.8834} \sqrt{\frac{72}{17}}$$

$$t = 1.596 \times 2.0579$$

$$t = 3.2844$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = N_1 + N_2 - 2$$

$$n = 15$$

$$S = 95 \%$$

$$t = 2.13$$

$$S = 99 \%$$

$$t = 2.95$$

$$S = 99.9 \%$$

$$t = 4.07$$

Der Unterschied ist gesichert bis $S = 99 \%$.

Übersichtsbild der mittleren quadratischen Abweichung und des Variationskoeffizienten

Druckfestigkeit	s = 53.1200	v = 9.0 %	Achatit
	s = 34.1321	v = 4.9 %	S. Syntrex
Spaltzugfestigkeit	s = 12.799	v = 10.8 %	Achatit
	s = 11.642	v = 20.0 %	S. Syntrex
Biegemoment	s = 0.260	v = 7.1 %	Achatit
	s = 0.349	v = 9.6 %	S. Syntrex
Pendelschlag	s = 7.5853	v = 11.6 %	Achatit
	s = 7.9877	v = 16.9 %	S. Syntrex
Stat. Biegefestigkeit	s = 1.0408	v = 13.0 %	Achatit
	s = 0.6582	v = 7.0 %	S. Syntrex
Torsionsfestigkeit	s = 41.06	v = 4.9 %	Achatit
	s = 64.40	v = 14.7 %	S. Syntrex
Kugelfallversuch	s = 2.167	v = 7.7 %	Achatit
	s = 3.845	v = 19.0 %	S. Syntrex

Die Unterschiede der Mittelwerte von Achatit und S. Syntrex sind gesichert für Druck, Spaltzugfestigkeit, Pendelschlag, Torsionsfestigkeit, und Kugelfallversuch bei einer statistischen Sicherheit von mehr als $S = 99.9 \%$.

Für die statische Biegefestigkeit konnte nur eine statistische Sicherheit von $S = 99.0 \%$ erreicht werden.

Die Unterschiede für das Biegemoment konnten in keinem Fall statistisch gesichert werden.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. DOLDER, E Nichtmetallische Werkstoffe
Z. M. K. Heilkunde 5. Band.
2. DIECK, Über eine methodische Prüfung der Silikat-
zemente,
Dtsch. Mon.f. Zahnheilk. 1922/Heft 8 und 10,
225-241 und 289-305.
3. GOLDER, P Die Grundlagen der methodischen Prüfung
von Zink und Aluminiumphosphatzement,
Inaug. Diss. Tübingen 1930.
4. GRAF/HENNING, Formeln und Tabellen der mathematischen
Statistik,
1958, Springer Verlag, Berlin.
5. HARTUNG, L. Die Druckfestigkeit des normalhärtenden
Zinkoxyphosphatzementes in Abhängigkeit
vom Mischungsverhältnis Pulver-Flüssig-
keit und von der Temperatur der Anrühr-
platte.
Inaug. Diss. München 1961.
6. HOFEN, R. Die Abbindungszeiten, Druckfestigkeit und
Stoßfestigkeit von Zink und Aluminium-
phosphatzementen.
Med. Diss. Tübingen 1931.
7. KIERSCHSIEPER, S. Untersuchungen deutscher Silikatzemente
nach den Vorschriften des amerikanischen
Normblattes der A.D.A., Spezifikation Nr.9
Med. Diss. Frankfurt 1950.
Mein Beitrag zur Frage der Prüfungsvor-
schriften für Silikatzemente.
Dtsch. Zahnärztl. Zeitschr. 1951, Nr.6, 770.
8. KLEINSORGEN, Aus der Praxis der Silikatzemente,
Dtsch. Zahnärztl. Wochenschr. 1909, Nr.18.
9. KNAPPWOST, A. Eigenschaften und Aufbau von Gitterwerk-
stoffen,
Dtsch. Zahnärztl. Zeitschr. 1954/6, 313
10. RAWITZER, W. Allg. Methoden der Materialprüfung bei der
Untersuchung von Zahnzementen,
Dtsch. Zahnärztl. Wochenschr. 1932, Nr.21,
1331 ff.

11. WEIKART, P. Beiträge zur Bestimmung der Festigkeit von Silikatzementen,
Dtsch. Mon. f. Zahnheilk. 1930 Heft 19,
1280-1297.
12. SCHUG-KÖSTERS, M. Lehrbuch der Kavitätenpräparation,
Wilhelm Maudrich Verlag, Wien 1951
13. PFAFFENBARGER, G.C.
Dental Silicate Cements: Physical and
Chemical Properties and a Specification
J. Am. Dental Assn. 25, 32 (1938)

Herrn Oberarzt Dr. Dr. W. KETTERL möchte ich für die Überlassung des Themas und für die Betreuung bei der Durchführung der Arbeit meinen Dank aussprechen.

Den Firmen Vivadent, De Trey, Wacker Chemie und Dyckerhof-Widmann möchte ich für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche danken.

VIII. LEBENS LAUF

Am 12.2.1937 wurde ich als Sohn des Dipl.Ing. Walter Fritz und dessen Ehefrau Else Fritz geb. Utz als zweites von drei Kindern in Burg-
hausen geboren. Dort besuchte ich bis zur 4. Klasse die Volksschule
und trat anschließend in das Humanistische Gymnasium ein. Nach 5 Klas-
sen wechselte ich in das Deutsche Gymnasium nach Niederalteich über.

Am 5.Juli 1957 legte ich dort das Abitur ab.

An der techn. Hochschule in München studierte ich dann zwei Semester
Maschinenbau und wechselte zum Studium der Zahnheilkunde an die
Universität München über.

Im Sommersemester 1962 legte ich die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Am 27.Juli 1965 habe ich mein Staatsexamen in München beendet.

